

# **Estudio de la microestructura y las propiedades mecánicas de nuevos aceros diseñados para aplicaciones en centrales térmicas de alta eficiencia y baja emisión de CO<sub>2</sub>**

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación y objetivos .....	1
1.2. Planificación de la investigación .....	2
<b>Capítulo 2. Antecedentes .....</b>	<b>5</b>
2.1. Generación y consumo energético .....	5
2.1.1. Centrales térmicas y combustibles fósiles .....	6
2.1.2. Desarrollo sostenible y eficiencia energética.....	8
2.1.3. Avances en las centrales térmicas .....	9

2.2. Materiales para centrales térmicas.....	12
2.2.1. Comportamiento a fluencia .....	14
2.2.1.1. Mecanismos de deformación en fluencia .....	16
2.2.2. Mecanismos de endurecimiento .....	18
2.2.3. Metalurgia física de aceros para centrales térmicas.....	20
2.2.3.1. Composición y microestructura .....	20
2.2.3.2. Efecto de los elementos aleantes.....	23
2.2.3.3. Partículas frecuentes en aceros para centrales térmicas.....	25
2.2.3.4. Cambios microestructurales a alta temperatura.....	27
2.3. Referencias.....	29

### **Capítulo 3. Desarrollo experimental..... 37**

3.1. Diseño y obtención de las aleaciones .....	37
3.1.1. Composición de las aleaciones.....	37
3.1.2. Proceso de obtención por colada .....	38
3.2. Selección y aplicación del tratamiento térmico .....	39
3.2.1. Modelado con Thermo-Calc.....	38
3.2.2. Tratamiento térmico .....	39
3.3. Análisis químico de control.....	40
3.4. Dilatometría .....	42
3.5. Difracción de Rayos X .....	44
3.6. Microscopía óptica y electrónica.....	45
3.6.1. Preparación metalográfica convencional.....	46
3.6.2. Microscopía óptica.....	47
3.6.3. Microscopía electrónica de barrido .....	47
3.6.4. Difracción de electrones retrodispersados.....	48
3.6.5. Microscopía electrónica de transmisión .....	49
3.6.6. Análisis cuantitativo de imagen .....	52
3.7. Caracterización mecánica.....	53
3.7.1. Dureza Vickers (HV) .....	53

3.7.2. Ensayos de compresión con cambios en la velocidad de deformación .....	53
3.7.3. Ensayos de fluencia.....	56
3.8. Referencias .....	58

**Capítulo 4. Aceros 14 % Cr .....61**

4.1. Resultados y discusión .....	61
4.1.1. Justificación del tratamiento térmico aplicado .....	61
4.1.1.1. Modelado termodinámico con Thermo-Calc.....	62
4.1.1.2. Estudio de las transformaciones de fase en enfriamiento continuo.....	67
4.1.2. Caracterización microestructural después del tratamiento térmico .....	71
4.1.3. Comportamiento mecánico a alta temperatura .....	88
4.1.3.1. Ensayos de compresión con cambios en la velocidad de deformación.....	88
4.1.3.2. Ensayos de fluencia.....	91
4.1.3.3. Discusión del comportamiento mecánico a alta temperatura.....	93
4.1.3.4. Extrapolación del tiempo de vida.....	100
4.1.4. Caracterización después de los ensayos mecánicos .....	107
4.1.4.1. Medidas de dureza .....	107
4.1.4.2. Análisis por difracción de rayos X.....	111
4.1.4.3. Evolución microestructural durante los ensayos mecánicos.....	114
4.1.4.4. Estudio de la fractura .....	128
4.2. Conclusiones aceros 14 % Cr .....	132
4.3. 14 % Cr steels conclusions .....	134
4.4. Referencias .....	136

**Capítulo 5. Aceros 2,25 % Cr ..... 143**

5.1. Resultados y discusión .....	143
5.1.1. Justificación del tratamiento térmico aplicado .....	143
5.1.1.1. Modelado termodinámico con Thermo-Calc.....	144
5.1.1.2. Estudio de las transformaciones de fase en enfriamiento continuo .....	149
5.1.2. Caracterización microestructural después del tratamiento térmico .....	152
5.1.3. Comportamiento mecánico a alta temperatura .....	166
5.1.3.1. Ensayos de compresión con cambios en la velocidad de deformación .....	166
5.1.3.2. Ensayos de fluencia .....	170
5.1.3.3. Discusión del comportamiento mecánico a alta temperatura .....	172
5.1.3.4. Extrapolación del tiempo de vida.....	175
5.1.4. Caracterización después de los ensayos mecánicos.....	182
5.1.4.1. Medidas de dureza .....	182
5.1.4.2. Análisis por difracción de rayos X.....	185
5.1.4.3. Evolución microestructural durante los ensayos mecánicos.....	190
5.1.4.4. Estudio de la fractura .....	200
5.2. Conclusiones aceros 2,25 % Cr .....	203
5.3. 2,25 % Cr steels conclusions .....	206
5.4. Referencias.....	208

**Capítulo 6. Conclusiones generales ..... 213**

6.1. Conclusiones generales .....	213
6.2. General conclusions .....	215

<b>Capítulo 7. Futuras líneas de investigación .....</b>	<b>217</b>
7.1. Optimización de los elementos aleantes y el tratamiento térmico....	217
7.1.1. Aceros 14 % Cr.....	218
7.1.2. Aceros 2,25 % Cr.....	219
7.2. Ajuste de los métodos de extrapolación del tiempo de vida.....	220
7.3. Caracterización más profunda de los materiales deformados en fluencia .....	221
7.4. Estudio de la resistencia a corrosión.....	221